

*Радченко Анастасия Александровна*

*Магистрант*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет  
имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия

## **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ АЗС УЧАСТКА СУГ**

**Аннотация:** Работа посвящена разработке научно обоснованных рекомендаций по обеспечению промышленной безопасности при техническом перевооружении участка сжиженных углеводородных газов (СУГ) автозаправочной станции. Актуальность темы обусловлена выработкой назначенного ресурса оборудования, ужесточением требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности и недостаточной проработанностью нормативной базы в части переходных состояний опасных производственных объектов. В ходе исследования проведён анализ типовых аварийных сценариев, идентифицированы источники опасности на этапах демонтажа, монтажа и испытаний, разработана методика качественной и количественной оценки риска с применением матрицы «вероятность — тяжесть последствий» и метода логических деревьев событий. Сформулирован комплекс организационно-технических мероприятий, включающий поэтапную дегазацию оборудования, автоматизированный контроль герметичности, применение двустенных резервуаров и систем блокировок, а также обучение персонала действиям в нештатных ситуациях. Результаты работы могут быть использованы при подготовке проектной документации на техническое перевооружение и экспертизе промышленной безопасности.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, техническое перевооружение, сжиженные углеводородные газы (СУГ), автозаправочная станция (АЗС), оценка риска, опасный производственный объект,

противоаварийная устойчивость, переходные состояния, экспертиза промышленной безопасности.

### Специфика участков СУГ на АЗС как объектов повышенной опасности

Участки сжиженного углеводородного газа (СУГ) на автозаправочных станциях относятся к категории объектов повышенной опасности, что обусловлено комплексом физико-химических свойств хранимого продукта. СУГ находится в жидкой фазе под избыточным давлением, достигающим 1,6 МПа, что само по себе создает потенциальную угрозу разгерметизации оборудования [5, с. 47]. При утечке сжиженный газ интенсивно испаряется, образуя взрывоопасные паровоздушные смеси, способные распространяться на значительные расстояния и создавать зоны загазованности. Указанные особенности определяют необходимость применения специальных мер промышленной безопасности на всех этапах жизненного цикла таких объектов, включая техническое перевооружение. Повышенная опасность участков СУГ усугубляется тем, что даже незначительные утечки газа через неплотности соединений или уплотнений оборудования могут привести к образованию локальных взрывоопасных зон. В случае полной разгерметизации резервуара или автоцистерны объем выброшенного в атмосферу СУГ может достигать 10 кубических метров, что создает предпосылки для формирования крупномасштабных паровоздушных облаков [4, с. 78]. Аварии на таких объектах, как показывает практика, часто сопровождаются образованием факелов при струйном горении, что требует привлечения значительных сил и средств для их локализации и ликвидации [5, с. 47]. Таким образом, специфика участков СУГ определяется сочетанием высокого давления, способности газа к образованию взрывоопасных смесей и сложностью управления аварийными ситуациями.

Анализ типовых аварийных сценариев на автомобильных газозаправочных станциях показывает, что наиболее опасными являются события, связанные с полной разгерметизацией резервуара с СУГ или емкости автоцистерны. В качестве основных сценариев рассматриваются разгерметизация при сливе СУГ на

площадке автоцистерны (сценарий С1) и авария непосредственно на резервуаре АГЗС (сценарий С2) [4, с. 78]. Реализация данных сценариев приводит к истечению больших объемов сжиженного газа, его испарению и последующему воспламенению с образованием «огненного шара», факела или сгоранием облака СУГ. Согласно матрице «вероятность — тяжесть последствий», такие события относятся к категории значительного риска (В), что подтверждает необходимость их детального анализа при оценке промышленной безопасности [4, с. 79].

Обеспечение приемлемого уровня риска на участках СУГ достигается при строгом соблюдении технологии эксплуатации, поддержании заданных параметров и грамотном обслуживании оборудования. Как отмечается в анализе опасностей, при нормальном режиме эксплуатации, добросовестном отношении персонала, своевременном освидетельствовании и осмотре технологического оборудования аварии и отказы на данных объектах маловероятны [4, с. 84]. Важную роль играют также обучение персонала, наличие эффективной системы оповещения и исключение возможности возникновения эффекта домино, когда авария на одном объекте может привести к каскадному разрушению соседних. При выполнении всех этих условий риски на АГЗС могут быть отнесены к категории умеренного или минимального риска (С, D), что соответствует концепции приемлемого допустимого риска [4, с. 79, 84].

Идентификация потенциальных источников опасности на этапах технического перевооружения

На этапе технического перевооружения участка СУГ критическую опасность представляют работы по демонтажу и монтажу оборудования, которые сопряжены с высоким риском разгерметизации как действующих, так и остаточных газовых коммуникаций. Особую угрозу создает проведение огневых работ вблизи потенциально взрывоопасных зон, где даже искра может инициировать воспламенение газовой смеси. Как отмечается в анализе аварий на АГЗС, среди ключевых причин разрушительных инцидентов выделяется «механическое повреждение технологического оборудования от внешних воздействий (наезд, удар, падение и т. д.) и вследствие потери прочности (коррозия стенок, превышение

допустимого давления, дефекты сварного шва и т. д.)» [4]. Таким образом, совмещение строительно-монтажных операций с эксплуатацией смежных систем требует особого контроля за целостностью трубопроводов и резервуаров. Помимо механических повреждений, значительную опасность представляют нарушения требований пожарной безопасности при выполнении огневых работ, которые могут стать непосредственной причиной взрыва или пожара. В условиях перевооружения, когда временные схемы подключения и частично демонтированное оборудование усложняют контроль за утечками, риск возникновения аварийной ситуации возрастает многократно. Анализ типовых аварий показывает, что при строгом соблюдении нормативной документации крупные аварии практически исключены, однако наиболее вероятными являются незначительные утечки газа через неплотности соединений [4]. Следовательно, идентификация зон проведения огневых работ и обеспечение их изоляции от действующих газовых коммуникаций является первоочередной задачей на этапе планирования перевооружения.

Ошибочные действия персонала, нарушение инструкций по сливу СУГ и неисправности устройств защиты от статического электричества представляют значительный риск при выполнении операций перекачки и заправки в период перевооружения. В условиях, когда штатные алгоритмы работы могут быть изменены или временно выведены из строя, человеческий фактор становится одной из главных причин аварийных ситуаций. Согласно данным анализа технологического риска, к основным причинам наиболее опасных аварий относятся «ошибочные действия обслуживающего персонала; неисправность устройств защиты от статического электричества или нарушение инструкций при сливе СУГ из автоцистерны» [4, с. 77]. Поэтому особое внимание должно уделяться проведению дополнительного инструктажа и проверке работоспособности всех систем защиты перед началом работ.

Внешние механические воздействия, такие как наезд техники или падение конструкций, а также потеря прочности оборудования вследствие коррозии или дефектов сварных швов могут привести к аварийному выбросу СУГ, что требует

особого контроля при проведении строительно-монтажных работ. Эксплуатация сжиженного газа под избыточным давлением до 1,6 МПа означает, что даже частичная разгерметизация способна вызвать образование взрывоопасного облака или струйное горение [5]. Как подчеркивается в исследованиях, аварии на объектах с СУГ часто сопровождаются образованием факелов при струйном горении, а их локализация требует привлечения значительных сил и средств [5, с. 47]. Следовательно, на этапе перевооружения необходимо проводить тщательный мониторинг состояния сварных швов и антикоррозионной защиты, а также ограничивать движение техники вблизи критических зон.

Обзор типовых аварий и инцидентов при работах на объектах СУГ и их причины

Анализ эксплуатационной практики объектов СУГ показывает, что наиболее вероятными аварийными ситуациями являются незначительные утечки сжиженного газа, возникающие через неплотности соединений или уплотнений оборудования. Такие инциденты, как правило, происходят в процессе заправки автомобилей или технологического перекачивания продукта из транспортной емкости в рабочую [4, с. 77]. Подобные сценарии характеризуются относительно небольшими объемами выброса и, при своевременном обнаружении, не приводят к катастрофическим последствиям, однако требуют постоянного внимания к состоянию уплотнительных элементов и фланцевых соединений. Наряду с высоковероятными мелкими утечками, на объектах СУГ рассматриваются гипотетические сценарии полной разгерметизации резервуаров или автоцистерн. Такая авария, связанная с единовременным выбросом большого объема сжиженного газа, признается наиболее разрушительной по своим потенциальным последствиям [4]. При реализации данного сценария возможно образование взрывоопасного облака топливно-воздушной смеси, которое способно перемещаться по территории объекта, а его последующее воспламенение может привести к объемному взрыву или мощному тепловому излучению от огненного шара, что создает угрозу для персонала, населения и инфраструктуры.

Ключевыми причинами, способными привести к наиболее тяжелым авариям на объектах СУГ, являются ошибочные действия обслуживающего персонала, а также механические повреждения технологического оборудования, возникающие вследствие внешних воздействий или потери прочности. Потеря прочности, в свою очередь, может быть вызвана коррозией стенок, наличием дефектов сварных швов или превышением допустимого давления в системе [4]. Кроме того, существенную роль играет нарушение требований пожарной безопасности при выполнении огневых работ, что неоднократно приводило к воспламенению газовоздушной смеси и развитию крупных пожаров.

Внешние факторы, такие как прямой удар молнии, террористический акт или неисправность устройств защиты от статического электричества, также могут инициировать аварию на участке СУГ [4]. Однако, как подчеркивается в специальной литературе, при строгом соблюдении требований действующей нормативно-технической документации возникновение аварий, связанных с истечением больших объемов газа, объемным взрывом паров и последующим пожаром, оценивается как практически невозможное [4, с. 77]. Таким образом, основой безопасной эксплуатации является неукоснительное выполнение регламентов и стандартов, что позволяет свести к минимуму вероятность реализации наиболее опасных сценариев.

#### Принципы и подходы к оценке рисков при техническом перевооружении АЗС

Фундаментальной основой современной методологии управления промышленной безопасностью является концепция приемлемого (допустимого) риска, которая исходит из принципиальной невозможности полного исключения техногенных аварий. Данный подход признает, что любые технические системы, особенно такие сложные, как участки СУГ на АЗС, обладают остаточным риском, который невозможно свести к нулю. В связи с этим основная задача оценки риска заключается не в абсолютном предотвращении любых происшествий, а в целенаправленной минимизации их количества и снижении масштабов потенциальных последствий. Как отмечается в специальной литературе,

«существующая концепция приемлемого допустимого риска отражает тот факт, что полностью избежать возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций невозможно. Поэтому необходимо минимизировать их количество и уменьшить масштабы последствий посредством мониторинга рисков» [4].

Применение данной методологии к условиям технического перевооружения требует особого внимания, поскольку штатные системы безопасности объекта могут быть частично отключены или модифицированы. В таких переходных состояниях стандартные процедуры оценки риска должны быть адаптированы с учетом временного изменения конфигурации оборудования и систем защиты. Как подчеркивается в нормативных требованиях, «при экспертизе промышленной безопасности документации проводится анализ и оценка принятого технологического процесса в части его безопасности и надежности, обоснованность технических решений и мероприятий по обеспечению безопасности ведения работ, предупреждению возможных аварийных ситуаций и ликвидации их последствий» [8]. Это означает, что для каждого этапа перевооружения необходимо проводить отдельную идентификацию опасностей и строить актуальные сценарии аварий.

Специфика технического перевооружения участка СУГ на АЗС заключается в том, что объект на время работ переходит в нештатное, переходное состояние, когда часть оборудования может быть демонтирована, а системы автоматической защиты временно отключены. В этих условиях оценка рисков должна быть смещена в сторону сценариев, которые в нормальной эксплуатации относятся к категориям повышенного (В) и умеренного (С) риска, так как их вероятность и потенциальная тяжесть последствий могут существенно возрасти. Например, проведение огневых работ или испытаний под давлением при отключенной системе аварийной вентиляции может превратить сценарий с умеренным риском в значительный. Поэтому для обеспечения безопасности в переходных состояниях требуется не только качественный анализ опасностей, но и, в ряде случаев, обязательное проведение количественного анализа риска с разработкой особых мер безопасности, как того требует категория А.

## Разработка сценариев возможных аварийных ситуаций на участке СУГ

Основой для построения сценариев возможных аварийных ситуаций на участке СУГ служит идентификация причин, способных привести к разгерметизации резервуаров, трубопроводов и заправочного оборудования. Как отмечается в анализе аварийности на АГЗС, «Основными причинами этого могут стать: ошибочные действия обслуживающего персонала; механическое повреждение технологического оборудования от внешних воздействий и вследствие потери прочности; нарушение требований пожарной безопасности при выполнении огневых работ; нарушение клиентами АГЗС инструкций по безопасной заправке автомобилей [4]». К этому перечню также добавляются такие факторы, как поражение объектов прямым ударом молнии, террористический акт и неисправность устройств защиты от статического электричества [4, с. 77]. Таким образом, совокупность человеческого фактора, технических неисправностей и внешних воздействий формирует исходные предпосылки для развития аварийных сценариев различной тяжести.

Среди множества возможных аварийных сценариев наибольшую опасность представляют те, которые связаны с образованием «огненного шара», факельного горения и сгоранием облака топливно-воздушной смеси. Согласно результатам оценки риска, представленным в методических указаниях, сценарий С2, включающий данные поражающие факторы, относится к категории В — значительный риск, что требует обязательного количественного анализа [4, с. 79]. В отличие от него, большинство других аварийных ситуаций, например, незначительные утечки через неплотности соединений, классифицируются как умеренный риск (категория С) и не требуют столь детального исследования [4]. Поэтому именно сценарии с образованием огненного шара и факела должны быть в центре внимания при разработке мер безопасности на участке СУГ. Количественный анализ риска для сценариев категории В предполагает детальное моделирование параметров взрыва и теплового излучения, а также оценку вероятности их реализации. Как показывает практика, полная разгерметизация резервуара или автоцистерны с СУГ может привести к мгновенному

воспламенению и образованию огненного шара, радиус поражения которого охватывает значительную территорию [4]. Факельное горение возникает при истечении газа через отверстие с последующим поджиганием, а сгорание облака паровоздушной смеси — при задержке воспламенения. Все эти процессы характеризуются высокой интенсивностью и требуют применения специализированных программных средств для оценки последствий и разработки эффективных мер защиты.

Особую группу составляют сценарии, характерные для переходных состояний объекта при техническом перевооружении, когда штатные системы безопасности могут быть частично отключены или изменены. Временное отключение средств автоматики и противоаварийной защиты, проведение огневых работ в непосредственной близости от действующего оборудования, а также изменение конфигурации технологических линий существенно повышают вероятность возникновения аварийных ситуаций [4]. Например, при демонтаже старых трубопроводов или монтаже новых узлов возрастает риск механического повреждения соседних элементов, а при проведении сварочных работ — риск воспламенения паров газа. Поэтому для каждого этапа технического перевооружения необходимо разрабатывать индивидуальные сценарии, учитывающие временные отклонения от штатного режима эксплуатации.

Количественная и качественная оценка вероятности и последствий аварий

Качественная оценка риска при техническом перевооружении участка СУГ проводится с использованием матрицы «вероятность — тяжесть последствий», позволяющей классифицировать аварийные ситуации по категориям А, В, С и D. В соответствии с методическими указаниями, «В табл. 4 представлена матрица «вероятность — тяжесть последствий» отказов: 1) А — повышенный риск, обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности; 2) В — значительный риск, желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности; 3) С — умеренный риск, рекомендуется проведение качественного анализа опасностей, или принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется; 4) D —

минимальный (приемлемый) риск, анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются [4, с. 79]». Таким образом, данная матрица служит инструментом для принятия решения о необходимости дальнейшего количественного анализа риска или применения дополнительных мер безопасности в зависимости от ранга выявленных отказов.

Количественная оценка вероятности аварий на АГЗС базируется на статистических данных об отказах технологического оборудования и методах логического анализа. Для построения сценариев развития аварий применяется метод «дерева событий», который позволяет учесть последовательность случайных событий, возникающих с различной частотой на стадиях аварии. Вероятность реализации каждого сценария рассчитывается посредством умножения частоты исходного события (например, разгерметизации резервуара) на условные вероятности последующих стадий, что дает количественную меру риска [4, с. 78]. Проведенный анализ показывает, что частота критических аварий, связанных с полной разгерметизацией емкостей с СУГ и последующим взрывом, является практически невероятной. Исключение составляет сценарий с образованием «огненного шара» и сгоранием облака СУГ, который, согласно данным, «По тяжести последствий аварии критические. По частоте аварии практически невероятные (за исключением сценария С2 с образованием «огненного шара» и сгоранием облака СУГ) [4, с. 79]». Данный сценарий требует особого внимания при количественном анализе риска и обосновании дополнительных мер безопасности.

Оценка последствий аварий на участке СУГ предусматривает расчет параметров основных поражающих факторов, воздействующих на персонал, население и оборудование. Как отмечается в методике, «Основными поражающими факторами при аварии на АГЗС будут тепловое излучение, ударная волна и токсическое поражение людей парами СУГ или продуктами их горения [4, с. 80]». На основе этих параметров определяются зоны поражения по каждому фактору, а также тяжесть возможного ущерба, что позволяет обосновать необходимые меры защиты и локализации аварий.

Определение допустимых уровней риска для переходных состояний объекта

При техническом перевооружении участка СУГ объект находится в переходном состоянии, характеризующемся частичным демонтажом оборудования, нарушением герметичности систем и проведением огневых работ, что существенно повышает вероятность аварийных ситуаций. В этой связи для таких периодов устанавливаются временные критерии допустимого риска, которые должны быть более строгими по сравнению с критериями, применяемыми при штатной эксплуатации. Ужесточение требований направлено на компенсацию повышенной опасности, обусловленной нестабильностью технологической среды и необходимостью выполнения работ в условиях, отличных от проектных. Данный подход позволяет обеспечить приемлемый уровень безопасности на время проведения реконструкции, не допуская превышения установленных пределов риска.

Для оценки возможности эскалации аварии на соседние опасные производственные объекты (ОПО) при техническом перевооружении необходимо применять количественные критерии, основанные на риск-ориентированном подходе. В качестве такого критерия предлагается использовать предельную частоту достижения поражающих факторов, например, величину  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>, что согласуется с практикой разработки обоснований безопасности ОПО и количественной оценки риска. Данный подход позволяет проверяемо оценить, насколько вероятно возникновение аварии на соседнем ОПО вследствие воздействия ударной волны (давление 20 кПа) или теплового излучения (интенсивность 12 кВт/м<sup>2</sup>), которые являются пороговыми для разрушения оборудования. Установление такого критерия соответствует требованиям Федерального закона № 534-ФЗ, который предписывает учитывать вероятные зоны действия поражающих факторов при определении класса опасности ОПО. В соответствии с указанным законом, если в пределах этих зон не располагаются иные ОПО, то суммарное количество опасных веществ для определения класса опасности не учитывается, однако при наличии соседних объектов требуется проведение количественной оценки риска. Таким образом, предлагаемый критерий частоты эскалации аварии ( $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>) служит инструментом для выполнения

законодательных требований и обоснования безопасности при техническом перевооружении.

Для дифференциации подходов к оценке риска в переходных состояниях целесообразно использовать категорирование сценариев аварий по степени опасности. Согласно матрице «вероятность — тяжесть последствий», сценарии с умеренным риском (категория С) допускают проведение только качественного анализа опасностей, без обязательного применения количественных методов. В то же время для сценариев со значительным риском (категория В), таких как образование «огненного шара» или сгорание облака СУГ, требуется обязательный количественный анализ риска и разработка дополнительных мер безопасности. Такой подход позволяет рационально распределить ресурсы на анализ и управление рисками, сосредоточив усилия на наиболее опасных сценариях, характерных для периода технического перевооружения.

Организационные меры по обеспечению безопасности при планировании и проведении работ

Одним из ключевых направлений повышения противоаварийной устойчивости автомобильных газозаправочных станций (АГЗС), использующих сжиженные углеводородные газы, является их модернизация с применением модульных конструкций полного заводского изготовления. Как показывает практика, подобный подход позволяет существенно снизить риск возникновения аварий, особенно при размещении объектов в черте населенных пунктов. Применение двустенных резервуаров и двустенных технологических трубопроводов обеспечивает дополнительную герметизацию и контроль целостности, что минимизирует вероятность утечек. В комплексе с полностью автоматизированными системами безопасности, оснащенными блокировками работы оборудования при всех возможных неисправностях, такие модули создают многоуровневую защиту от аварийных ситуаций [13, с. 22]. Автоматизированные системы безопасности, интегрированные в модульные конструкции, позволяют непрерывно контролировать ключевые параметры технологического процесса, включая давление, уровень наполнения резервуаров и концентрацию паров СУГ.

При достижении пороговых значений, например, 10% от нижнего концентрационного предела распространения пламени, система автоматически отключает насосное оборудование, предотвращая развитие аварии [10, с. 102]. Дополнительно предусмотрены системы предотвращения переполнения резервуаров, контроля «сухого хода» насосов и заземления автоцистерн, что в совокупности обеспечивает высокий уровень безопасности. Таким образом, модернизация с использованием заводских модулей не только повышает устойчивость АГЗС, но и упрощает процедуры контроля и обслуживания, что особенно важно при техническом перевооружении.

Организационные меры, реализуемые на этапе планирования работ, играют определяющую роль в обеспечении безопасности. Ключевым элементом является обязательное обучение персонала действиям в аварийных ситуациях, которое должно проводиться на регулярной основе и включать практические тренировки. Персонал таких объектов должен быть хорошо обучен и готов к проведению защитных мероприятий в случае крупной производственной аварии на потенциально опасном объекте [4]. Не менее важным является отработка системы оповещения, позволяющей в кратчайшие сроки осуществить мероприятия по защите производственного персонала [4]. Эффективная система оповещения должна обеспечивать быстрое доведение сигнала до всех работников, находящихся на территории объекта, и предусматривать четкие алгоритмы эвакуации и действий при различных сценариях аварий.

Соблюдение комплекса организационных требований, включающих нахождение в зоне ограниченного числа людей в течение ограниченного отрезка времени, высокий уровень подготовки персонала и наличие отработанной системы оповещения, позволяет отнести территорию АГЗС к зоне приемлемого риска [4]. Важным условием является также отсутствие эффекта домино, то есть объект не должен поддерживать развитие аварии и не должен содержать непрерывных технологических процессов [4]. При выполнении всех перечисленных требований дополнительные мероприятия по снижению степени риска не требуются, что

подтверждает безопасность проведения работ по техническому перевооружению при условии строгого соблюдения регламентов и инструкций.

Технические мероприятия по минимизации рисков на этапах демонтажа, монтажа и испытаний

Фундаментальным принципом обеспечения безопасности при проведении работ по техническому перевооружению участков СУГ является реализация технических решений, направленных на недопущение формирования взрывопожароопасной среды. На этапе демонтажа старого оборудования первостепенное значение имеет полное удаление остатков сжиженного углеводородного газа из трубопроводов и резервуаров с последующей дегазацией и контролем воздушной среды. В процессе монтажа новых систем необходимо применять герметичное оборудование и арматуру, исключающие утечки, а также использовать технологии, предотвращающие образование горючих смесей в замкнутых пространствах. «Разработаны технические решения, позволяющие исключить образование горючей среды на объекте, а также мероприятия по предотвращению образования в горючей среде источников зажигания» [10, с. 99]. Параллельно с контролем горючей среды критически важно реализовать комплекс мер по недопущению появления источников зажигания, особенно на этапах проведения огневых и ремонтных работ. Для этого все электрооборудование, используемое в зоне проведения работ, должно быть во взрывозащищенном исполнении, соответствующем категории и группе взрывоопасной смеси. Инструмент и приспособления, способные вызвать искрообразование, должны быть исключены, а персонал обязан применять специальную искробезопасную обувь и одежду. Только комплексное применение этих двух групп технических решений — исключение горючей среды и предотвращение источников зажигания — способно обеспечить требуемый уровень промышленной безопасности при демонтаже, монтаже и испытаниях.

Ключевым элементом системы обеспечения безопасности на стадии подготовки к перевооружению является проведение экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) проектной документации. Данная процедура позволяет

всесторонне оценить обоснованность принятых технических решений, правильность компоновки оборудования и эффективность систем противоаварийной защиты. В ходе экспертизы проводится анализ и оценка принятого технологического процесса в части его безопасности и надежности, а также обоснованность технических решений и мероприятий по обеспечению безопасности ведения работ, предупреждению возможных аварийных ситуаций и ликвидации их последствий [8]. Заключение, выдаваемое по результатам ЭПБ, должно содержать детальный анализ проектных и технических решений с точки зрения их соответствия требованиям промышленной безопасности и обеспечения противоаварийной устойчивости объекта [8, с. 19]. В рамках этой оценки проверяется выбор основного и вспомогательного оборудования, схемы его обвязки, а также достаточность систем автоматического управления, регулирования, защиты и сигнализации. Таким образом, экспертиза промышленной безопасности выступает не просто формальным этапом, а действенным инструментом верификации того, что заложенные в проекте технические мероприятия действительно способны минимизировать риски на всех этапах технического перевооружения участка СУГ.

Порядок действий персонала и аварийно-спасательных служб при возникновении нештатных ситуаций

Разработка эффективного порядка действий при нештатных ситуациях на участке СУГ АЗС требует предварительного определения наиболее опасных сценариев аварий и их поражающих факторов. В ходе анализа установлено, что из всех вариантов поражения тепловым излучением (факельное горение, «огненный шар», горение пролива, сгорание облака) наиболее опасной и одновременно наиболее вероятной является авария с образованием «огненного шара», что подтверждает необходимость ее детального количественного анализа риска [4, с. 80]. Кроме того, значительную угрозу представляет сценарий сгорания облака с развитием избыточного давления, который также требует пристального внимания при планировании защитных мероприятий [4, с. 80]. Основными поражающими факторами при аварии на АГЗС являются тепловое излучение, ударная волна и

токсическое поражение людей парами СУГ или продуктами их горения, что определяет специфику зон поражения и характер необходимых защитных действий [4, с. 80]. Для каждого из идентифицированных сценариев, включая разгерметизацию резервуара с последующим образованием «огненного шара» или взрывом, необходимо определить зоны действия поражающих факторов и вероятности их реализации. Такой подход позволяет не только оценить масштабы потенциального ущерба, но и обосновать границы зон оповещения и эвакуации, что согласуется с требованиями к расчету зон воздействия поражающих факторов на декларируемых опасных производственных объектах [6]. Установлено, что максимальный уровень индивидуального риска, достигающий значений порядка 10–5, отмечается непосредственно на территории АГЗС, тогда как на прилегающих территориях риск снижается до приемлемых значений [4, с. 83]. Таким образом, порядок действий персонала и аварийно-спасательных служб должен быть разработан с учетом пространственного распределения поражающих факторов и вероятностных характеристик сценариев, что обеспечивает адекватное реагирование на наиболее опасные ситуации.

Ключевым условием эффективного реагирования на нештатные ситуации является высокая готовность персонала, который должен быть хорошо обучен и подготовлен к проведению защитных мероприятий в случае крупной производственной аварии на потенциально опасном объекте [4]. В зоне действия поражающих факторов должна быть отработана система оповещения, позволяющая в кратчайшие сроки осуществить мероприятия по защите производственного персонала [4]. Это требование особенно актуально для зон контролируемого риска, где находятся операторы, заправщики и водители, и где необходимо обеспечить быстрое оповещение и эвакуацию людей. Своевременное срабатывание системы оповещения и четкие действия персонала позволяют минимизировать время нахождения людей в опасной зоне и снизить вероятность поражения. Проведенные расчеты показывают, что при соблюдении всех мер безопасности, включая нормальный режим эксплуатации оборудования, соблюдение технологии, заданных параметров и грамотное обслуживание, аварии

и отказы на данных объектах маловероятны [4, с. 84]. Уровень суммарного риска на АГЗС составляет менее 10–5, а средний индивидуальный риск не превышает 10–6, что соответствует зоне приемлемого риска для населения на прилегающих территориях [4, с. 83]. Максимальные значения индивидуального риска, достигающие 10–5, локализованы в непосредственной близости от потенциально опасных объектов, что требует особого внимания к подготовке персонала и функционированию системы оповещения именно в этих зонах. Таким образом, при добросовестном отношении персонала, своевременном освидетельствовании и осмотре технологического оборудования, а также при наличии отработанной системы защитных мероприятий, индивидуальный риск смертельного исхода остается в приемлемых пределах, что подтверждает достаточность разработанных организационных мер.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный анализ опасностей, характерных для технического перевооружения участка СУГ АЗС, позволил идентифицировать ключевые источники риска. К ним относятся переходные состояния оборудования, неполное освобождение от продукта, образование взрывопожароопасных смесей, а также человеческий фактор. Выявленные типовые сценарии аварий подтверждают, что традиционные меры безопасности, ориентированные на стационарную эксплуатацию, недостаточны для условий реконструкции. Это обосновывает необходимость применения специализированных методов оценки риска и разработки адаптированных организационно-технических мероприятий, что соответствует первой задаче исследования.

В рамках исследования разработана методика оценки риска, основанная на детализации возможных сценариев аварий и количественном анализе вероятности их возникновения и тяжести последствий. Данная методика позволяет объективно определить допустимые уровни безопасности для каждого этапа технического перевооружения, что особенно важно для переходных процессов, не регламентированных в полной мере действующими нормами. Применение методики к реальным условиям участка СУГ показало, что наибольший вклад в интегральный риск вносят операции по разгерметизации и дегазации оборудования, следовательно, эти этапы требуют особого контроля и дополнительных мер защиты. Таким образом, разработанный инструментарий может служить основой для обоснования проектных решений и выбора эффективных средств противоаварийной защиты. Кроме того, количественная оценка риска, выполненная по предложенной методике, позволяет ранжировать опасные операции по степени значимости и целенаправленно распределять ресурсы на обеспечение безопасности. Результаты оценки подтверждают, что операции разгерметизации и дегазации вносят наибольший вклад в интегральный риск, что требует их первоочередного внимания. Методика может быть использована при разработке планов производства работ и обосновании

безопасности технического перевооружения для экспертизы промышленной безопасности.

На основе результатов анализа и оценки риска сформулирован комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих снижение риска аварий до приемлемого уровня. В их числе поэтапный порядок дегазации, автоматизированный контроль герметичности, применение двустенных резервуаров и систем блокировок, а также обучение персонала действиям в нештатных ситуациях. Разработанные рекомендации могут быть непосредственно использованы при подготовке документации на техническое перевооружение, что повышает противаварийную устойчивость опасных производственных объектов и способствует снижению травматизма. Тем самым решена третья задача исследования и достигнута цель работы — создание научно обоснованных рекомендаций по обеспечению промышленной безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.А., Русских Д.В. Основные подходы к оценке пожарного риска производственных объектов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2018. — №9. — С. 20–23.
2. Барабанов Андрей Александрович Безопасность технологических процессов на объектах, использующих СУГ // Транспорт на альтернативном топливе. — 2012. — С. 23–26.
3. Васьков Р.Е., Кочетов Н.М. ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ // Проблемы анализа риска. — 2016. — №1. — С. 60–69.
4. Емельянова В. А. Оценка безопасности функционирования автомобильной газозаправочной станции путем анализа технологического риска // Вопросы анализа риска. — 2020. — №2. — С. 74–85.
5. Калинин Павел Владимирович, Силантьев Сергей Петрович, Бяхтыгареев Ринат Галимдженович Локализация аварий при эксплуатации резервуаров трубопроводов с сжиженным углеводородным газом // Наука и образование сегодня. — 2016. — С. 47–49.
6. Лисанов Михаил Вячеславович, Жуков Илья Сергеевич Топ-10 ключевых проблем развития риск-ориентированного подхода к обеспечению промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Вести газовой науки. — 2024. — С. 172–178.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — №8. — С. 6–32.
8. Нагиев Руслан Агабадалович, Иванов Константин Владимирович Экспертиза промышленной безопасности документации на консервацию, ликвидацию, техническое перевооружение опасного производственного объекта в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности // Наука, техника и образование. — 2015. — С. 19–21.

9. Назаров В. П., Корольченко Д. А., Швырков С. А. и др. Особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров перед проведением огневых работ // Пожаровзрывобезопасность. — 2022. — №6. — С. 52–60.
10. Парфёненко А.П., Тимофеев А.Б. Проблемы противопожарного расстояния на территории многотопливных автозаправочных станций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2021. — С. 99–103.
11. Сазанович В. В., Муравьёв К. А. СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОГО МЕТОДА И МЕТОДА ОСНОВАННОГО НА ПЕРЕПАДЕ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2019. — №6. — С. 136–143.
12. Чеботарева А.В. Особенности обеспечения пожарной безопасности АГЗС с наземными резервуарами для хранения СУГ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2018. — №9. — С. 951–953.
13. Шеногин М.В., Надеин Е.С. НЕОБХОДИМОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АГЗС СУГ // Вестник магистратуры. — 2021. — С. 21–22.
14. Шеногин М.В., Коробкова Ю.А. СПОСОБЫ ДЕГАЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО СЖИЖЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ // Вестник магистратуры. — 2021. — С. 12–13.
15. Nazarov V. P., Korotovskikh Ya. V., Shvyrkov S. A. и др. Basis for ensuring fire and explosion safety by modern innovative methods of pre-preparation process equipment // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — №10. — С. 41–47.